

**А.Л. Иванов, М.С. Кузнецов, В.И. Кирюшин, Е.Ф. Зорина, Н.В. Иванова, М.А. Мазиров, А.Д. Флэсс, Е.Н. Есафова, С.Н. Ковалев**

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭРОДИРОВАННЫХ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ И ОВРАЖНОЙ ЭРОЗИИ В УГОДЬЯХ ВЛАДИМИРСКОГО ОПОЛЬЯ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ\***

Владимирское Ополье расположено в подзоне южной тайги, к северо-западу от г. Владимира. Его естественными рубежами являются долины рек Клязьмы, Нерли и Колокши. Ополье является восточной оконечностью Клинско-Дмитровской гряды. Рельеф представлен обширными водораздельными холмами с выположенными вершинами и пологими протяженными склонами. Водоразделы сильно расчленены унаследованной эрозионной сетью (Макеев, Дубровина, 1990). Ландшафт имеет лесостепной облик, что резко выделяет его среди окружающих его болотно-лесных ландшафтов южной тайги. Материнской породой для современных почв являются лесовидные суглинки мощностью 2-4 м, подстилаемые днепровской мореной. Почвенный покров представлен серыми лесными почвами со вторым гумусовым горизонтом, залегающими в микропонижениях, серыми лесными остаточными-карбонатными почвами микроповышений и почвами глубоких западин, имеющими яркие признаки оглеения.

Высокая распаханность территорий, волнистый рельеф и лесовидный характер почвообразующей породы обусловили довольно высокую интенсивность эрозионных процессов. Смытые серые лесные почвы занимают примерно 70% всей площади распространения почв этого генетического типа (Почвенный покров ..., 1992). В связи с этим защита почв Владимирского Ополья от водной эрозии является актуальной проблемой. Для охраны почв от эрозии необходимо разработать схемы и проекты противоэрозионных мероприятий на всю область, на водосборные бассейны и на отдельные хозяйства. Основой для разработки таких схем и проектов являются почвенно-эрозионные карты соответствующего масштаба. Однако картографирование смытых серых лесных почв до сих пор представляет значительные трудности, связанные с недостаточной разработанностью проблемы их распространения по элементам рельефа. Овражная эрозия на территории развита слабо. Однако, поскольку все овраги сосредоточены либо на пахотных угодьях, либо имеют техногенное происхождение и приурочены к городским или сельским поселениям, актуальность ограничения процесса не вызывает сомнений. Решение этих проблем и использование результатов исследования при составлении проекта противоэрозионных мероприятий на ОПХ Владимирского НИИСХ являлось основной задачей настоящей работы.

---

\* Выполнен в рамках Федеральной целевой программы «Государственная поддержка интеграции высшего образования и фундаментальной науки» (контракт №С0073, 2000-2001 гг)

Основным диагностическим признаком степени смытости почв является морфология почвенного профиля. Нами использовалась классификация эродированных почв В.В. Егорова, В.М. Фридланда и др., (1977).

### **Поверхностная эрозия почв**

Важной проблемой почвенно-эрозионного картографирования является возможность более полного использования в этих целях топографической карты, в частности, полученных на ее основе показателей крутизны, длины и экспозиции склонов. При крупномасштабном картографировании это позволяет исследователю представить себе еще до выезда в поле, насколько опасен в эрозионном отношении рельеф обследуемой территории и какие по степени смытости почвы могут встретиться в том или другом районе. Очевидно, такое рассмотрение не может заменить полевое обследование, но существенно облегчает его (Кузнецов, Глазунов, 1996). Связь степени смытости дерново-подзолистых почв с длиной, крутизной и экспозицией склона детально исследована В.П. Лидовым (1981). Несколько раньше И.Д. Брауде (1976) было выявлено влияние крутизны склона на эродированность почв Нечерноземной зоны (включая серые лесные почвы), но при постоянной длине склона (600-800 м) вне зависимости от его экспозиции. Им было установлено, что пятна среднесмытых почв на фоне несмытых и слабосмытых серых лесных почв появляются при крутизне 1-2<sup>0</sup>, при крутизне 2-3<sup>0</sup> слабо- и среднесмытые почвы составляют основной фон, при 3-5<sup>0</sup> преобладают средне- и сильносмытые почвы, а слабосмытые встречаются пятнами; при крутизне 5-8<sup>0</sup> почвенный покров представлен сильносмытыми почвами с пятнами среднесмытых.

Исследования Г.П. Сурмача (1992), проведенные на серых лесных почвах Орловской области, показали наличие корреляционной связи между степенью смытости почвы и уклоном для склонов продольно-выпуклой формы. Серые лесные слабосмытые почвы приурочены к уклонам 1,5-2<sup>0</sup>, среднесмытые – 1,5-3<sup>0</sup>, сильносмытые 2,5-4<sup>0</sup>, весьма сильносмытые – 3,0-7,0<sup>0</sup> и чрезмерно (полностью) смытые – более 7<sup>0</sup>. Колебания уклонов, которым соответствует та или иная степень смытости объясняются Г.П. Сурмачем, различной длиной склонов и степенью их выпуклости, а также длительностью распашки; однако конкретные значения длин обследованных склонов им не приведены. Таким образом, проблема использования морфометрических показателей рельефа при почвенно-эрозионном картографировании серых лесных почв требует дальнейшей разработки.

Решение проблемы основывалось на анализе материала, полученного при описании разрезов, заложенных по 18 почвенно-геоморфологическим профилям. Результаты определения степени смытости почвы в зависимости от длины и крутизны склона показали, что точки, соответствующие среднесмытым почвам, лежат на графике в координатах «длина – крутизна склона» в области бóльших значений этих параметров, чем относящиеся к несмытым и слабосмытым почвам. Линия раздела этих двух массивов точек показывает, при каких сочетаниях длины и крутизны склона возможно по-

явление среднесмытых почв на склонах разных экспозиций. Результаты анализа в общем согласуются с данными И. Д. Брауде (1981) и Г.П. Сурмача (1992) по влиянию крутизны склона на эродированность серых лесных почв, однако влияние длины и экспозиции склона для серых лесных почв ранее не было показано. Следует отметить также, что при анализе процесса водной эрозии почв правильнее говорить о влиянии не длины склона, а длины линии стока. Действительно, было замечено, что даже на длинных склонах, пересеченных ложбинами, отводящими сток в сторону, интенсивность эрозии почв невелика, поэтому среднесмытые почвы могут и не появиться.

Обработка полученных результатов производилась отдельно для двух типов склонов: южной – западной и северной – восточной экспозиций, т.к. можно было предположить по аналогии с дерново-подзолистыми почвами южно-таежной зоны, что по проявлению эрозии склоны восточной экспозиции ближе к северным, а западной – к южным (Лидов, 1981). Анализ результатов показал, что склоны северо-западной экспозиции ближе к северным, чем к западным по распространению эродированных почв.

В соответствии с работой Г.П. Сурмача (1992) за геоморфологический критерий опасности эрозии почв был выбран показатель "K".

$$K = L^{0,5} I^{1,3},$$

где  $L$  – длина линии стока, м;  $I$  – уклон склона. Анализ результатов исследования показал, что среднесмытые почвы появляются при значении указанного критерия, равном 0,1 для склонов южной, западной и 0,3 – для северных и восточных склонов.

Важное диагностическое значение, имеет появление в почвенном покрове среднесмытых почв, поскольку этот факт позволяет отнести эту территорию к III-ей категории земель по подверженности эрозии и потребности в противоэрозионных мероприятиях. При условии преобладания среднесмытых почв – территорию относят к IV-ой категории земель; появление в почвенном комплексе сильносмытых почв, свидетельствует о переходе земель в V-ую категорию (Соболев, 1973).

Для разработки количественного критерия выделения IV-ой категории земель был использован ключевой метод исследования. На территории Владимирского НИИСХ было заложено пять ключевых площадок (50 x 50 м<sup>2</sup>) на склонах разной степени эродированности.

Площадка №1 (Гнездилово-1).

Заложена на склоне западной экспозиции в средней части склона на расстоянии 600м от водораздела. Средний уклон 2<sup>0</sup>.

Основной фон создают среднесмытые серые лесные почвы (64% общей площади). Такое преобладание среднесмытых почв при сравнительно небольших уклонах обусловлено значительной общей длиной, частично западной ориентацией и сильной выраженностью микрорельефа склона, создающего условия для концентрации стока. Слабосмытые почвы состав-

ляют 14%, столько же – несмытые серые лесные почвы, 8% – несмытые серые лесные почвы со вторым гумусовым горизонтом.

Площадка №2 (Крапивье).

Заложена на склоне северо-восточной экспозиции в 400 м от водораздела. Средний уклон  $2^{\circ}30'$ . Основной фон создают слабосмытые почвы (59%). Среднесмытые почвы (33%) в основном расположены в нижней части площадки на микровыпуклостях поверхности склона, где уклоны достигают  $3-4^{\circ}$ . 8% площади занято несмытыми серыми лесными со вторым гумусовым горизонтом.

Площадка №3 (Черниж).

Заложена на склоне западной экспозиции в 275 м от водораздельной вершины увала. Склон выпуклой формы. Средняя крутизна  $2^{\circ}40'$ . Наибольшие уклоны приурочены к нижней части площадки. Основной фон составляют среднесмытые почвы (76%), слабосмытые занимают 16% площади. В небольшом количестве встречаются сильносмытые (2%) и смыто-намытые почвы (6%).

Площадка №4 (Глебовское).

Расположена на склоне северной экспозиции в 300 м от водораздела. Средняя крутизна около  $6^{\circ}$ . Среднесмытые почвы (67%) приурочены к средней части площадки. Встречаются сильносмытые почвы (4%). Слабосмытые почвы занимают 27%, несмытые – 2%. Резкое уменьшение степени смытости наблюдается в самой нижней части площадки, несмотря на ее значительную крутизну ( $6-7^{\circ}$ ). Это объясняется тем, что в нижней части склона северной экспозиции происходит аккумуляция снега, что уменьшает интенсивность смыва.

Площадка №5 (Гнездилово-2).

Площадка заложена на склоне северо-западной экспозиции на расстоянии 200 м от водораздела. Средняя, крутизна склона  $2^{\circ}50'$ . Основной фон создают слабосмытые почвы – 60%. Это обусловлено, главным образом, малой длиной склона. Среднесмытые почвы занимают 19% площади, несмытые серые лесные – 13%. Намытые и смыто-намытые занимают 8% площади.

Представленный материал (табл. 1) свидетельствует о том, что на склонах западной экспозиции (площадки № 1, 3) среднесмытые почвы преобладают при значении параметра рельефа 0,3 и более. На склонах северной и северо-восточной экспозиции (площадки № 2, 4) преобладание среднесмытых почв наблюдается при больших значениях этого показателя. Во втором случае при  $K=0,34$  (площадка 2) среднесмытые почвы занимают лишь 33%, но при  $K=0,89$  (площадка 4) – уже 67%.

Следовательно значение  $K$  находится между этими двумя величинами. Отмеченная на второй площадке приуроченность среднесмытых почв к нижней части площадки с уклонами  $3-4^{\circ}$  ( $K=0,52$ ) дает некоторые основания полагать, что преобладание среднесмытых почв начинается при  $K=0,5$ . Появление сильносмытой почвы на площадке №4 при  $K=0,89$  на склоне северной экспозиции свидетельствует о переходе почв в V-ю категорию при

$K \geq 0,9$ . Эпизодическое появление сильносмытой почвы (2%) на площадке №3 при  $K=0,3$  на склоне западной экспозиции можно, по-видимому, объяснить наиболее эрозионноопасной формой склона – выпуклой и экспозицией склона. Значения параметра рельефа при переходе почв на северо-западном склоне в V-ю категорию, возможно, будет меньше, чем на северном и восточном склонах, однако сейчас нет достаточно оснований принимать его меньше величины 0,9, выбранной для последних.

**Таблица 1.** Значения параметра рельефа (K) при преобладании в почвенном покрове слабо- и среднесмытых серых лесных почв

№ площадки	Преобладающая степень смытости	Экспозиция склона	Длина линии стока, м	Крутизна, град	Параметр рельефа
1	среднесмытая	З	625	2,0	0,31
2	слабосмытая	С–В	425	2,5	0,34
3	среднесмытая	З	300	2,6	0,30
4	среднесмытая	С	325	5,8	0,89
5	слабосмытая	С – З	225	2,8	0,29

Таким образом, почвы разной степени смытости не образуют самостоятельных контуров, залегая в пятнистостях и комплексах, в которых можно выделить лишь преобладающую почвенную разность. В связи с этим на почвенно-эрозионной карте выделены контура слабо- и среднеэродированных почв, представляющих собой комплексы с преобладанием, соответственно, слабо- и среднесмытых почв, включающих меньшие доли несмытых и даже намытых почв.

На основе составленной почвенно-эрозионной карты, а также с учетом параметра рельефа местности (табл.2) и рекомендаций С.С.Соболева (1973) и И.Д.Брауде (1976) (табл.3) пахотные земли хозяйства были разделены на четыре категории (II–V). I категория земель на данной территории не выделяется. К этой категории относятся земли, не подверженные водной эрозии, сток талых и дождевых вод с них не угрожает нижележащим участкам. Это – пойменные земли. Однако поймы рек Каменки и Нерли на территории ОПХ Владимирского НИИСХ не распахиваются, а используется как сенокосы и пастбища.

Ко II категории относятся земли, подверженные слабой эрозии, или те, сток с которых угрожает нижележащим участкам. Это приводораздельные, пологие части склонов с несмытыми и слабосмытыми почвами. Для предотвращения стока и в целях борьбы с засухой на этой территории рекомендуется проведение комплекса мероприятий, способствующих равномер-

ному снегонакоплению и снеготаянию, а также повышению водопроницаемости почв.

**Таблица 2.** Значения параметра рельефа (K) при разных сочетаниях длины линии стока (L) и крутизны склона (I)

Длина линии стока (L), м	крутизна склона ( $\alpha$ ), град.					
	0,5-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-7
100-200	0,04	0,10	0,20	0,32	0,43	0,64
200-300	0,05	0,13	0,25	0,40	0,56	0,81
300-400	0,06	0,16	0,30	0,48	0,66	0,95
400-500	0,07	0,18	0,34	0,54	0,75	1,08
500-600	0,08	0,20	0,38	0,60	0,83	1,20
600-700	0,09	0,22	0,41	0,65	0,90	1,30
700-800	0,09	0,23	0,44	0,70	0,97	1,40

К III категории относятся преимущественно средние участки длинных склонов со слабосмытыми почвами в комплексе со среднесмытыми. Эти земли нуждаются в некоторых изменениях в структуре севооборотов (помимо мероприятий, рекомендованных для почв II категории).

В IV категорию входят преимущественно среднеэродированные почвы присетевого земельного фонда (Козменко, 1949). Интенсивность смыва здесь такова, что для его предотвращения требуется введение специального почвозащитного севооборота, а также выполнение мероприятий, рекомендованных для III категории. Земли IV категории распространены, в основном, в западной и северо-западной части хозяйства и приурочены к склонам 2-й и 3-й террас правого берега р. Каменки и ее притока р. Бакалейки, что связано с их достаточной крутизной (3-4° и до 6°) и протяженностью (до 2 км). В восточной части ОПХ земли IV-ой категории представлены мелкими массивами, приуроченными ко 2-й террасе р. Нерли и к прибалочным склонам.

Земли V категории представлены средне- и сильносмытыми почвами, обычно сильно расчлененными промоинами и оврагами. Их рекомендуется использовать после заравнивания промоин в почвозащитных севооборотах или отводить под пастбища и лес. Эта категория земель на данной территории не образует сплошных массивов.

Схема распространения земель разной категории на территории ОПХ Владимирского НИИСХ представлена на рисунке 1, а конкретное содержание комплексов противоэрозионных мероприятий для них дано в таблице 4.

### Линейная эрозия

Особое место среди процессов эрозии занимает линейная эрозия почв и грунтов. Линейные эрозионные формы приурочены к бассейнам рек Нерли, Каменки и ручья Мжары, причем современная овражная эрозия не

получила значительного развития в бассейне р. Нерли. Основными линейными формами здесь являются хорошо задернованные древние линейные формы – балки, лощины, ложбины стока. Причинами этого, по-видимому, является тип рельефа – балочно-западинный с пологими прямыми и слабо выпуклыми склонами, небольшие глубины базисов эрозии склоновых водосборов, высокое стояние грунтовых вод, выклинивающихся в днищах балок и их отвершков.

В бассейне р. Каменки (приток р. Нерли), в особенности по ее правому берегу, где грунтовые воды не прослеживаются на глубину вреза балок и склоны речной долины значительно круче, наблюдаются овраги, водосборами которых являются либо лощины, достаточно хорошо выраженные в рельефе, либо чисто антропогенные образования – разъемные борозды на пашне, дорожные кюветы и т.п. Ниже приведено описание обследованных линейных эрозионных форм разного порядка, отмеченных на рис. 1 цифрами в кружке.

**Таблица 3.** Категории земель Владимирского ополья (II – V) по подверженности эрозии и комплексу противоэрозионных мероприятий в зависимости от морфометрии склона

Длина линии стока, м	ЭКСПОЗИЦИЯ СКЛОНА											
	южная и западная						северо-западная, северная и восточная					
	КРУТИЗНА СКЛОНА, град.											
	0,5-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-7	0,5-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-7
100-200												
200-300												
300-400												
400-500	II	III		IV		V	II	III		IV	V	
500-600												
600-700												
700-800												

Объект 1 – балка на правом берегу р. Бакалейки вблизи ее впадения в р. Каменку. В ее устьевой части развивается донный овраг, получивший название «Прорва». По-видимому, он начал свое развитие при подмыве р. Бакалейкой устьевой части днища балки с образованием эрозионного уступа. Донный врез задернован, покрыт густой болотной растительностью. Дальнейшее развитие этого вреза маловероятно.

Объект 2 – овраг длиной 50 м, прорезающий бровку склона на правом берегу реки Каменка, имеет все признаки растущей эрозионной формы.

Объект 3 – крупная лощина, в устье которой врезан овраг Мирской, развивающийся по днищу, заросшему крапивой и чернобильником, но не имеющий развитого дернового покрытия.

Объект 4 – серия крупных эрозионных форм с плоскими заболоченными днищами, прорезающих большей частью бровку террасы р. Каменка. Это типичные растущие овраги длиной около 70 м на выпуклом правом берегу р. Каменки. Все они подходят, а некоторые и пересекают бровку склона. Выше бровки склона между оврагами видны следы старой напашки и дороги, которые подводят воду к оврагам. Максимальная глубина в створе бровки склона до 4-5 м.

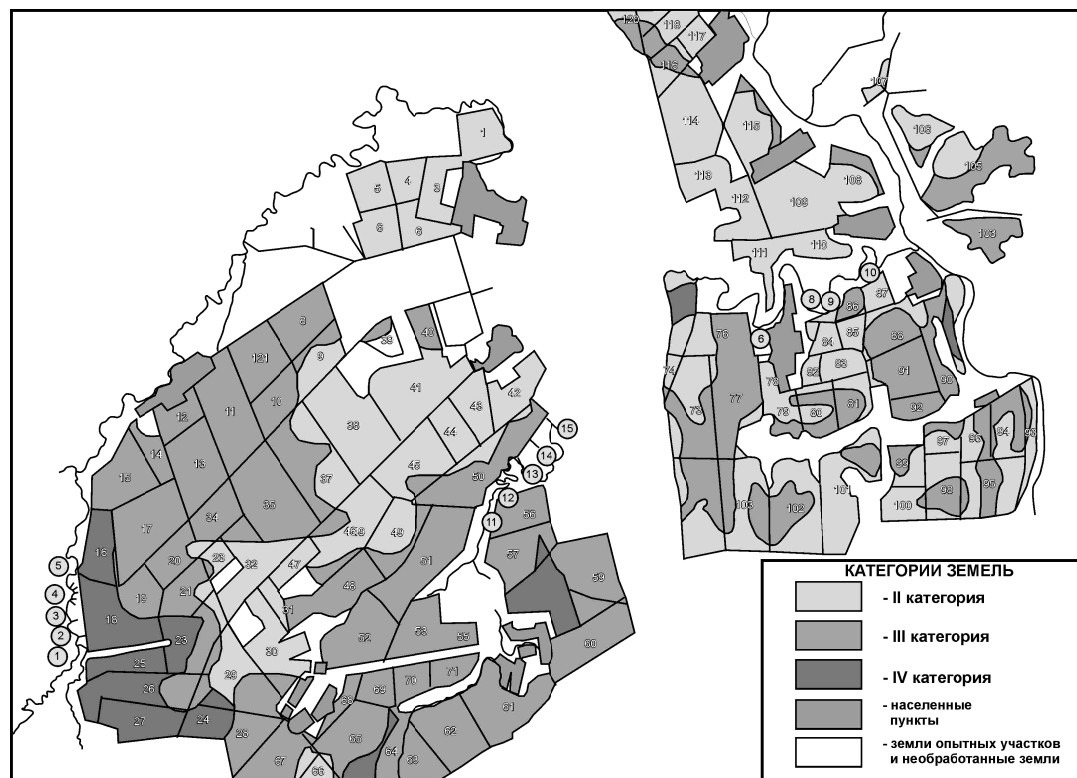
**Таблица 4.** Комплексы противоэрозионных мероприятий на территории ОПХ Владимирского НИИСХ

Категория земель	Рекомендуемые агротехнические и лугомелиоративные мероприятия
II	1. Вспашка поперек склона (или по контуру) на глубину 20-22 см под зерновые (поверхностная обработка под озимые под чистому пару) 2. Вспашка поперек склона (или по контуру) на глубину 20-22 см с почвоуглублением до 35-40 см или вспашка на глубину 27-30 см под пропашные 3. Внесение органических и минеральных удобрений 4. Посев поперек склона 5. Щелевание озимых 6. Снегозадержание и регулирование снеготаяния
III	1, 2, 3, 4, 5, 6 – по II категории 7. Щелевание многолетних трав 8. Нарезка водоотводящих борозд через 80-100 м 9. Исключение из севооборота пропашных культур и замена чистого пара занятым. Введение многолетних трав.
IV	1. Введение зерно-травяного почвозащитного севооборота 2, 3*, 4, 5, 6, 7 – по I и II категориям. 8. Нарезка водоотводящих борозд через 50-70 м

\* Нормы удобрений увеличиваются для III категории на 15%, для IV – на 30% по сравнению с нормами для II категории.

Объект 5 – овраг «Дудин», образовавшийся вследствие подмыва излучиной р. Каменки высокого правого берега, по-видимому, во время половодья. Изначально было подмыто устье длинной пологой лощины протяженностью 1,8-2,0 км с глубиной базиса эрозии около 45 м. В приустьевой части лощины под дорогой проложен дюкер, собирающий воду с кюветов придорожной насыпи и прилегающей части водосбора. Выше дюкера образовался эрозионный врез с уступом 1,8 м и длиной 20 м. На всем своем протяжении он вскрывает покровные суглинки и нижележащую морену на глубину примерно 0,2 м.





**Рис. 1.** Схема распространения земель разных категорий на территории ОПХ Владимирского НИИСХ  
*(цифрами обозначены номера полей, цифрами в кружке – линейные формы эрозии)*

Вершина вреза не задернована и имеет все признаки растущей формы. Рядом с ней по днищу лощины развивается еще один врез глубиной 0,2 м. Территория водосборной лощины не распаханна. Далее по долине р. Каменки вблизи моста вплоть до устья оврага Прорва располагается серия оврагов. Они развиваются в неглубоких протяженных лощинах, по-видимому, за счет концентрации воды полевыми дорогами, частично проходящими по этим лощинам.

Объект 6 – балка с донным врезом глубиной 0,7 м. Днище балки сухое, задернованное влаголюбивой растительностью. Донный врез заболочен, имеются окна открытой воды.

Объект 7 – растущий овраг, водосбором которого является проселочная дорога и окраины с. Глебовское. Между объектами 6 и 7 расположен участок берега с высотой обрыва 10-12 м, развитие которого провоцируется сбросом воды с проселочной дороги.

Объект 8 – балка с многоступенчатым донным врезом. Верхняя, незадернованная, отрывистая ступень имеет высоту 0,6-0,7 м. Ниже этой ступени до дороге, пересекающей балку, идет размыв глубиной 0,5 м. Под дорогой проложен дюкер, провоцирующий развитие остальных ступеней.

Объект 9 – овраг, привязанный к пойме р. Каменки в месте выклинивания террасы. Высота бровки склона над низкой поймой составляет 15-18 м. Глубина оврага в створе бровки склона достигает 12-13 м. Овраг имеет две вершины. В настоящее время основное поступление воды с водосборной площади происходит по более активной правой вершине благодаря концентрации воды по бороздам на пашне и полевым дорогам, подходящим к ней. Левая вершина поросла лесом и кустарником 2-3х летнего возраста.

Объект 10 – типичный склоновый овраг с глубиной в средней части до 5 м (в створе бровки она достигает 8-10 м). Днище оврага плоское, шириной 3-4 м. Весь овраг зарос травянистой, частично болотной растительностью. Однако вершина имеет признаки роста: отрывистая, клиновидной формы в плане. Растительность представлена пионерными видами. От русла реки по конусу выноса, прорезая его и террасу высотой 10 м, идет новый врез, образовавшийся при подмыве берега реки.

Объект 11 – овраги по левому берегу ручья Мжары вблизи гусиной фермы. Весь левый берег имеет в плане фестончатое строение. В каждом из фестонов заложен овраг. Овраги береговые, длиной 50-70 м с привершинным уступом 0,2-0,3 м, свидетельствующим о их росте. В устьевых частях некоторых оврагов имеются донные врезы. Один из оврагов достигает длины около 250 м, его глубина – 1,5 м. Бровка оврага не задернована, обрывистая, высота уступа до 0,5 м. Дно оврага плоское. Овраг получает питание водой из лесополосы.

Объект 12 – донный овраг глубиной 1,5 м по правому борту ручья Мжары напротив гусиной фермы. Овраг развивается по днищу глубокой лощины благодаря поступлению воды через трубу, проложенную под дорогой.

Объект 13 – донный овраг в ложине по правому берегу ручья Мжары на 350 м ниже гусиной фермы. Длина оврага – 100 м, глубина в устье – 5 м, высота уступа вершины донного вреза – 1,5 м. Овраг образован от сброса воды по напашу.

Объект 14 – овраг по правому берегу ручья Мжары длиной 300 м, ниже предыдущего на 100 м; его глубина до 8 м; левый борт – оползневой. Вода поступает из придорожной лесополосы и обширного водосбора, а также из дюкера, проложенного под шоссе Владимир – Суздаль. По правому борту оврага имеется три отвержка с растущими вершинами.

Объект 15 – овраг по правому борту ручья Мжары в месте пересечения долины с шоссейной дорогой Владимир – Суздаль. Его длина около 200 м, глубина 4–5 м.

Все овражные формы в бассейнах р. Каменка и ручья Мжары могут быть разделены на три основных типа.

1. Овраги, через которые по насыпи проложены шоссейные дороги с установкой водосбросных сооружений (объекты 5, 8, 12). В том случае, если в результате наблюдений за их дальнейшим ростом будет отмечено продвижение по руслу эрозионных ступеней, углубление и увеличение количества, целесообразно провести их выполаживание, с одновременным густым посевом трав и устройством временных водонаправляющих запруд для отвода воды на соседние безопасные места. Эти работы целесообразно начинать сразу после снеготаяния. Отвод воды от залуженных и выполаженных участков должен поддерживаться до укоренения трав. За водосбросом необходимо установить бетонное основание и ниже по руслу сделать отсыпку гравийного материала для предотвращения размывающего действия сконцентрированного тубой или дюкером потока.

II. Овраги, расположенные в пологих ложинах на полевых угодьях, имеющие значительную длину и признаки роста – удлинение, расширение (объекты 3, 7, 9, 10, 11а, 13, 14, 15). Поскольку водосбором таких оврагов является выраженная в рельефе древняя форма, концентрирующая сток, в ложине выше вершины оврага следует отсыпать водозадерживающие валы. По днищу ложин перпендикулярно линиям стока через 50–100 м целесообразно также высадить рядами древовидные и кустарниковые ивы. Посадку следует производить весной, непосредственно после схода снежного покрова. По днищу самих оврагов, там, где не наблюдается активного процесса врезания, можно рекомендовать посадку кустарниковой и древовидной ивы и тополя. На слабозадренованных склонах оврагов, в их средней части можно рекомендовать посадку клена ясенелистного, смородины золотистой, клена татарского. Посадочные места при этом должны подготавливаться только вручную в виде площадок террас с обратным уклоном дна. После посадки нарушенную площадь задреновывают.

Для приостановки развития крупных овражных форм могут применяться незаслуженно забытые запруживающие сооружения. К ним относятся хворостяные запруды, в том числе "живые" из ивовых прутьев.

В тех случаях, когда наблюдения не показывают активного развития оврага, достаточным может считаться залужение откосов оврага на всем их протяжении. Отсутствие активного роста может быть признаком начавшегося самозарастания эрозионной формы, в случае чего мелиоративные мероприятия, нарушающие сплошность растительного и дернового покрова, в частности лесопосадки, могут отрицательно сказаться на стабилизации процесса.

Особое внимание должно быть обращено на объект 10. Для предотвращения его возможной активизации целесообразно выше вершины установить распылители стока в виде валиков высотой 30-50см, через 75-100 м под углом  $45^{\circ}$  к направлению водотока, подходящего к вершине оврага.

III. Овраги длиной 50-70 м, подходящие вершинами к бровкам берега реки Каменка и ручья Мжары (объекты 2, 3, 4, 11). Их следует оконтуривать земляными валиками, расположив их на расстоянии обрушения угла естественного откоса берегового обрыва по несколько рядов в шахматном порядке. Например, если высота бровки склона над урезом или поймой реки составляет 15-25м, первая полоса валиков может располагаться не ближе  $20/0,6 = 33\text{м}$ .

В том случае, если в силу тех или иных причин начинается активизация оврагообразовательного процесса и рассмотренных выше элементарных мер ограничения роста оврагов оказывается недостаточно, могут быть предложены более сложные схемы. К ним относятся методы облесения бортов с чередованием выположенных и ненарушенных участков, чередующихся на противоположных бортах оврага в шахматном порядке, устройство заградительных валов, исключающих поступление стока на выположенные откосы и его сброс через вершинный перепад. Могут также рекомендоваться посадки лесополос на склонах в сочетании с валами-каналами, а также другие лесомелиоративные и гидротехнические мероприятия (Рожков, 1981; Калининченко, 1978; Ивонин, 1992).

## ЛИТЕРАТУРА

**Брауде И.Д.** Рациональное использование эродированных серых лесных почв Нечерноземной зоны РСФСР. М. 1976.

**Егоров В.В., Фридланд В.М., Иванова Е.Н., Розов Н.Н., Носин В.А., Фриев Т.А.** Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос 1977.

**Ивонин В.М.** Противозерозионные мелиорации водосборов в районах оврагообразования. М. 1992.

**Калининченко Н.П.** Организация и технология работ по защите почв от водной эрозии. М.: Высшая школа 1978.

**Козменко А.С.** Борьба с эрозией почв. М.: Сельхозгиз 1949.

**Кузнецов М.С., Глазунов Г.П.** Эрозия и охрана почв. М.: изд-во МГУ, 1996.

**Лидов В.П.** Процессы водной эрозии в зоне дерново-подзолистых почв. М.: изд-во МГУ 1981.

**Макеев А.О., Дубровина И.В.** География, генезис и эволюция почв Владимирского Ополя // Почвоведение, 1990, №7.

**Почвенный покров Владимирской области (пояснительная записка к почвенной карте масштаба 1:200000).** Пушкино, 1992.

**Рожков А.Г.** Борьба с оврагами. М.: Колос, 1981.

**Соболев С.С.** Эрозия почв СССР и борьба с ней. М.: МАТИ, 1973.

**Сурмач Г.П.** Рельефообразование, формирование лесостепи, современная эрозия и противоэрозионные мероприятия. Волгоград. 1992.

**М.В. Веретенникова, Зорина Е.Ф., Ковалев С.Н., Любимов Б.П.**

#### **СТАЦИОНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОВРАГООБРАЗОВАНИЯ НА БОРОВСКОМ УЧЕБНО-НАУЧНОМ ПОЛИГОНЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МГУ\***

Изучение процесса оврагообразования на стационарах – одно из возможных направлений, имеющих свои методические особенности и решающее специфические задачи, наряду с лабораторным экспериментом, натурными обследованиями, анализом топографических карт аэрофотоснимков и др. Картографическая оценка дает возможность получить представление об общем количестве оврагов, протяженности овражной сети, привязке к различным формам рельефа, проанализировать влияние на характеристики овражной сети его морфометрических параметров. Анализ серии карт позволяет установить изменения овражной сети во времени и выявить влияние природных факторов и антропогенного воздействия на распространение оврагов.

Лабораторный эксперимент позволяет получить характеристику общих закономерностей развития процесса (его саморазвития), исследовать влияние внешних факторов проследить внутрикомпонентные связи (длина – ширина – глубина – площадь – объем) оврагов, их обусловленность и изменения соотношений параметров в период роста, а также получить количественную оценку влияния внешних факторов на развитие оврага при соблюдении постоянства «прочих условий», что важно при составлении алгоритмов развития процесса.

Натурные обследования дают возможность типизировать овраги в конкретных регионах, установить стадии их развития, характеристики средних скоростей роста, оценить особенности геолого-морфологического строения склонов и конфигурации склоновых водосборов на которых развиваются овраги. В процессе натурных исследований выявляются основные причины появления оврагов в пределах конкретных склоновых водосборов,

---

\* Работа выполнена в рамках программы государственной поддержки ведущих научных школ России (проект № НШ-1443. 2003. 5)

природные и антропогенные факторы активизации процесса, фиксируются виды и анализируется состояние противоэрозионных мероприятий.

Результаты исследований на стационарах в природных условиях не могут и не должны претендовать на решение перечисленных выше задач. Их ценность заключается, в первую очередь, в том, что они выполняются в конкретном природном ландшафте, повторить который во всем многообразии его компонентов и определяющих развитие оврага факторов не способна ни одна экспериментальная установка. Сюда относятся климатические, гидрологические и морфологические характеристики водосборных бассейнов, особенности гидрографа летних осадков и половодья, ежегодные трансформации которых налагают своеобразный и неповторимый отпечаток на состояние объекта исследований. В отличие от данных, получаемых при натурных обследованиях, стационары позволяют оценивать процесс во времени благодаря проведению срочных наблюдений, ежегодным повторным съемкам, расширению или изменению, при необходимости, состава фиксируемых параметров. Вместе с тем они дают возможность рассматривать динамику эрозионно-аккумулятивной системы «водосбор-склон-овраг-река», фиксировать взаимодействие отдельных компонентов этой системы во времени, проследить и обозначить связь между природными процессами, влияющими на развитие линейной эрозии и реакцией на их проявление компонентов системы, которая для них может быть далеко не однородной.

Наблюдения на природных стационарах позволяют получить эмпирические значения коэффициентов шероховатости и формы сечения потоков, зафиксировать формирование их мутности, проанализировать процессы, протекающие в руслах оврагов и балок. Ценность подобных наблюдений состоит в том, что получаемые ежегодно параметры стока и деформаций являются осредненными, дающими представление о периоде наблюдений в целом; в то же время они фиксируют экстремальные проявления процесса на фоне всего комплекса гидролого-морфологических и климатических факторов.

Длительные стационарные исследования позволяют "вписаться" в алгоритм процесса развития оврага, в общем виде полученном на экспериментальных лабораторных установках. При этом, получение характеристик параметров оврагов на соответствующей стадии саморазвития открывает возможность для расчета интенсивности их роста в течение всего периода активного развития и, что особенно важно, прогноза этого развития на перспективу.

Стационар, расположенный в определенном природном регионе может рассматриваться как ключевой участок для распространения полученных в процессе наблюдений закономерностей развития линейных эрозионных форм на территории с близкими ландшафтными характеристиками.

#### **Характеристика района и объектов исследований**

Учебно-научный стационар МГУ расположен на границе Московской и Калужской областей на правом берегу р. Протвы. Борга долины реки

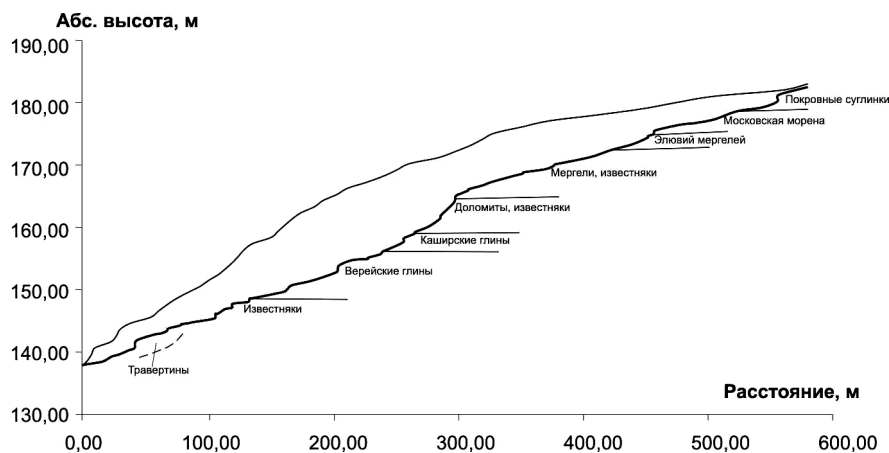
прорезаны многочисленными оврагами. Овраги, устья которых выходят на пойму, образуют большие конуса выноса. В том случае, когда овраг привязан непосредственно к урезу реки, его выносы образуют подводные косы, сужающие поток и отжимающие его к противоположному берегу. Наблюдения за развитием овражной эрозии являются частью исследований эрозионно-аккумулятивных процессов в бассейне малой реки, которые проводятся Научно-исследовательской лабораторией эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева с 1981 г.

Объектами изучения являются – донный врез балки Сенокосная, овраги Буйный и Егоров.

Балка Сенокосная своим устьем привязана к высокой левобережной пойме р. Протвы, на которую опирается мощный конус выноса балки. Донный врез занимает около трети длины балки. Его глубина варьирует от 0,5-1,0 м в вершине до 1,5-1,8 м в приустьевой части балки и полностью исчезает в средней части конуса. Вершинная часть донного вреза имеет несколько отвершков. Их рост идет за счет взаимодействия суффозионных и эрозионных процессов.

Объект – овраг Буйный расположен на левом берегу р. Протвы и опирается на ее пойму в непосредственной близости от устья Сенокосной балки. Он представляет собой короткую (около 100 м) эрозионную форму с крутым уклоном (0,45) дна и обрывистой вершиной с перепадом до 1,8 м. По-видимому, в начальный период его развитие носило исключительно бурный характер. В настоящее время сток у вершины рассредоточен, в связи с чем линейный рост значительно замедлился и удлинение происходит в основном за счет образования суффозионных полостей и последующего их обрушения.

Егоров овраг располагается на правом борту долины р. Протвы на выпуклом склоне западной экспозиции. Он дренирует склоновый водосбор площадью 0,4 км<sup>2</sup>, имеет длину 400 м и относительные превышения 39 м. Овраг прорезает маломощные покровные суглинки и моренные суглинки общей мощностью до 4,0 м и подстилающие их коренные карбонатные породы и древние глины. Геологическое строение определяет форму продольного профиля оврага и особенности его морфометрии и морфологии на отдельных участках (рис. 1). Чередование эрозионно-устойчивых пород с относительно легко размываемыми, придают Егорову оврагу своеобразный вид, вследствие чего отдельные его части можно рассматривать как самостоятельные эрозионные формы рельефа. Эти же условия определили выбор гидрометрических створов, на которых проводятся измерения стока воды и наносов и определяются различия морфометрических элементов оврага.



**Рис. 1.** Продольные профили склона Егорова оврага и его геологическое строение.

Почти на половине длины овраг (нижняя его часть) пререзает трудноразмываемые доломиты, глины и известняки. Уклоны продольного профиля на некоторых участках достигают  $20-25^\circ$ , борта долины имеют уклон превышающий  $40-45^\circ$ . Этот участок начинается восьмиметровым уступом, соответствующим выходам каширских и верейских глин. К этому же участку приурочен постоянный водоток, питаемый грунтовыми водами и впадающий непосредственно в р. Протву. Устьевой участок оврага, в пределах которого выходят известняки, в значительной мере похож на балку. Долина оврага имеет четко выраженный долинный комплекс – две поймы и террасовидные поверхности по правому борту. При впадении в р. Протву овраг пререзает свой древний конус выноса, расположенный на пойме реки и ограниченный известняковой плитой, которая создает трехметровый уступ. За ним начинается современный конус выноса, выдвинутый в русло реки почти на две трети его меженной ширины.

Верхняя половина Егорова оврага, особенно в верхней трети его длины, обладает более четко выраженным "овражным" обликом. Современный Егоров овраг начинается в 15 м от дюкера, проложенного под широкой дорожной насыпью высотой около 2,5 м, который концентрирует большую часть стока с водосбора. Сброс воды через дюкер в один из пяти отвершков, крайне медленно удлинявшихся до его сооружения, сделал этот отвершек основным и привел к отмиранию других четырех, которые постепенно заиливаются. В то же время соединение основного отвершка (наиболее активного на данный момент) с двумя другими, позволяет разделить верхнюю часть Егорова оврага на два участка: верхний соответствует покровным и моренным суглинкам; нижний, после впадения отвершков, соответствует появлению в Егоровом овраге выходов карбонатных пород.



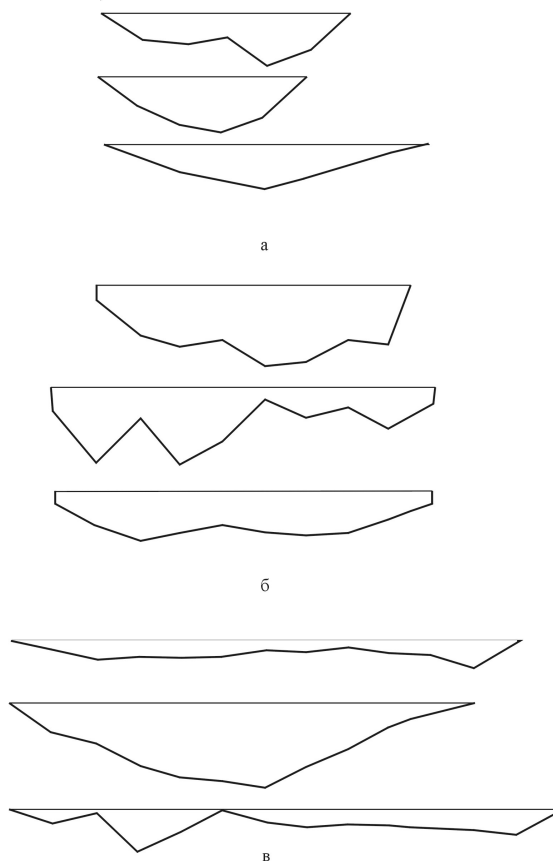
На первом участке наблюдений длиной 4,6 м (верхняя часть) овраг прорезает покровные суглинки. Уклоны тальвега здесь – 0,01. В его пределах происходят ежегодные переформирования русла, углубление и плановые изменения самого оврага. Второй участок расположен в центральной части оврага, имеет длину 3,1 м и представляет собой каньон глубиной до 10 м, шириной по дну около 1,5 м, уклон продольного профиля тальвега – 0,051. Днище оврага представлено известняковой плитой, заканчивающейся в нижнем створе второго участка структурным уступом высотой 1,7 м. Ниже овраг вскрывает горизонт подземных вод, образующих постоянный водоток. Таким образом, расход воды, измеряемый на втором гидрометрическом створе, дает представление о суммарном поверхностном стоке, поступающем с части водосборного бассейна, замыкаемой вторым участком наблюдений. Ниже по длине оврага расходы воды представляют сумму поверхностного и подземного стока. Третий участок расположен в приустьевой части оврага. Он находится выше зоны подтопления рекой, т.е. вне зоны подпора во время половодья, имеет длину 6 м, уклон днища – 0,046, ширину по днищу – 2,5-3,0 м, меженный расход постоянного водотока 16-25 л/с.

#### **Методика проведения исследований**

Срочные наблюдения за прохождением половодья с измерением расхода воды и наносов начинались с момента появления воды в вершинной части оврага и заканчивались с прекращением поступления поверхностного стока и установлением в замыкающем створе на нижнем участке расходов, не превышающих меженные значения. Они подтверждают факт нарастания расхода воды в овраге по мере продвижения от вершины к устью, особенно при наличии боковых притоков. Расходы воды определялись на каждом участке по результатам промеров поперечных профилей потока в нескольких створах по длине и измерений скорости потока с помощью поверхностных и заглубленных поплавков. Поплавки распределялись по возможности равномерно по поперечному сечению, что позволяло получить скорость, осредненную по глубине и ширине потока. Мутность определялась отборами проб в мерные емкости интегральным способом. Измерения скоростей потоков проводились также с помощью микровертушки и трубки Пито. Однако эти приборы не давали надежных результатов в режимах малых расходов и глубин, крайне неравномерного течения и низких температур воды. Примеры форм поперечных сечений потоков на участках наблюдений приведены на рис. 2. Как видно, типичным для поперечного профиля русла в оврагах является наличие выступов шероховатости, высота которых соизмерима с глубиной потока. Глубины изменяются в несколько раз и распределены неравномерно как по длине участков, так и по поперечному профилю. Если поперечник русла первого участка к концу половодья, когда дно полностью протаяло, приобретает форму, близкую к параболической, то участки на известняковой плите сохраняют распластанное течение прямоугольной формы с практически постоянной шириной. Это обусловлено вер-

тикальными бортами русла высотой 15-20 см. Выше уклон бортов снижается до 40-42°. Подобные особенности строения русла оврага создают предпосылки для существенного завышения измеренных скоростей потока. Из-за значительных выступов шероховатости и малых по сравнению с шириной потока глубинах создаются участки противотечений и застойные зоны, где даже легкие поверхностные поправки не проходят. В результате измеряются скорости нескольких быстрых струй в стрежневой зоне потока, и их величины закладываются в расчет стока воды.

С целью облегчения работы при максимальных расходах воды во время снеготаяния и получения объективных значений скоростей потока при малых глубинах часть замеров на участках измерений дублировались в лотках, установленных ниже естественных створов в непосредственной близости от них. На нижнем участке лоток установлен в 1983 г., на среднем – в 1984 г. Они представляют собой разрезанную вдоль металлическую трубу диаметром 1 м. Такое соотношение ширины и глубины потока создает условия для более объективного определения средней скорости потока. Лотки тарированы по глубине с ценой деления 1 см. Для каждого значения рассчитана величина поперечного сечения потока. В результате сравнения расходов воды в лотках и на естественных створах получены некоторые прямолинейные зависимости, показавшие различия в величинах этого показателя даже на участках потока, расположенных на минимальном расстоянии друг от друга. По-видимому, это обусловлено не только точностью измерения скоростей и разными значениями коэффициента шероховатости в естественном и искусственном руслах, но и с потерями воды на фильтрацию на бесприточных участках при прохождении стока по оттаявшему грунту. В начале снеготаяния, когда сток воды идет по промерзшему руслу оврага, различия в величинах стока воды не столь велики. По полученным данным, расход на естественных участках завышается в 1,4 раза.



**Рис. 2.** Формы поперечных сечений на участках Егорова оврага:  
*а – верхний (первый); б – средний (второй); в – нижний (третий).*

#### **Характерная морфометрия русел потоков в оврагах**

Форма русла овражного потока является причиной значительных и, в большинстве случаев, неподдающихся расчетному определению изменений соотношения между шириной и глубиной потока в овраге. Можно лишь утверждать, что при малых расходах имеет место распластанное течение. В среднем соотношении между шириной и средней по сечению глубиной потока составляет 15-20. Однако, имеются существенные различия в этих величинах на разных участках. Наибольших значений это соотношение достигает на нижнем участке – до 50-60 (что очень близко к характеристикам балок). Здесь днище оврага наиболее широкое и плоское, с неравномерно разбросанными выступами шероховатости их высота около 0,14 м, отдельные выступы – до 0,2-0,25 м. Кроме того, наличие здесь постоянного водотока повышает объемы стока по сравнению с вышележащими участками. На

среднем участке по мере роста расхода воды величина соотношения  $b/h$  очень быстро снижается от 50 до 15-20 уже при расходе воды около 40 л/с.

На верхнем участке изменения соотношений ширины потока к его глубине не столь разительны и составляют от 15 при малых расходах воды до 5 при больших. Как показывают исследования в различных регионах России, поперечное сечение потока в овраге отличается от поперечного сечения русловых потоков. Сечение потока в овраге имеет форму прямоугольника, трапеции, треугольника, параболы с различным соотношением ширины и глубины в зависимости от расхода воды. Треугольная форма русла наиболее характерна для начальных стадий развития при преобладании глубинной эрозии, прямоугольная – для стадий, когда преобладают обвальнo-осыпные и частично аккумулятивные процессы. Определенную роль в конфигурации поперечного сечения также играют грунтовые условия, чередование по глубине пород разной размываемости, а также стадия снеготаяния. Например, в начале снеготаяния русло потока может представлять собой щель в снегу; потом оно становится прямоугольным, затем параболическим и постепенно приобретает форму, обусловленную геологическим строением территории. В период снеготаяния форма русла, а, следовательно, и соотношение  $b/h$  изменяется в течение суток, по мере подъема и спада половодья, а также в зависимости от объемов стока и интенсивности таяния. По-видимому, этими причинами обусловлена столь большая вариабельность соотношения ширины и глубины потоков в оврагах.

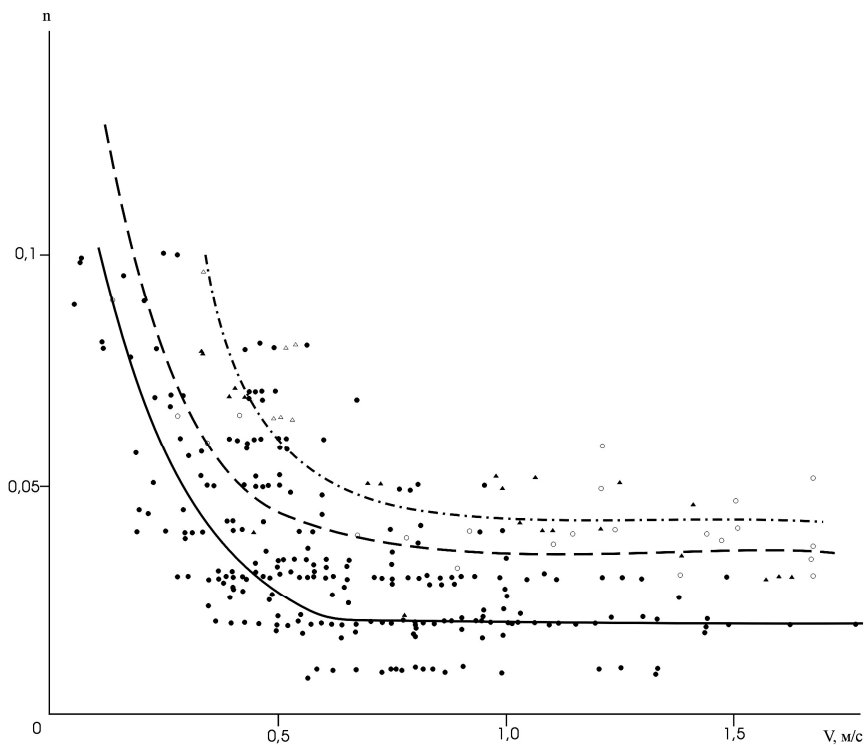
Типичным для поперечного профиля русла оврага является наличие выступов шероховатости, высота которых соизмерима с глубиной потока. Выделяются три типа шероховатости: 1) микрошероховатость (зернистость), обусловленная механическим составом пород, в которых развивается овраг; 2) мезошероховатость, зависящая от крупности перемещаемых потоком агрегатов (смерзшиеся комки почвы, обломки пород, включения гальки и гравия и т. п.); 3) макрошероховатость, определяющая местные сопротивления (уступы в русле, русловые формы, представленные осередками, косами, побочнями; изгибы потока в плане – корни деревьев и кустарников, а также стволы поваленных деревьев и осыпи, перегораживающие русло).

В зависимости от грунтовых условий участка измерений, типа весеннего снеготаяния, скоростных характеристик потока преобладающими могут быть разные типы шероховатости. Как правило, в овражном русле на любом из его отрезков можно встретить все виды шероховатости, как в виде разнoзернистых фракций, так и в виде местных сопротивлений (3 тип), влияние которых на скоростные характеристики потока изменяются во времени по мере формирования стока половодья и по длине овражной формы. Коэффициенты шероховатости ( $n$ ) на каждом из измерительных участков определялись с использованием зависимости Шези и принятой, по В.Н. Гончарову (1965) аппроксимации коэффициента  $C$ ,

$$C = \frac{h^{0,167}}{n}, \quad \text{откуда } n = \frac{h^{0,67} J^{0,5}}{V}, \quad (1)$$

$$V = \frac{h^{0,67} I^{0,5}}{n},$$

где  $V$  – средняя на участке скорость потока, м/с;  $I$  – средний по участку уклон тальвега оврага;  $h$  – средняя по участку глубина потока, м.



**Рис. 3.** Изменение коэффициента шероховатости  $n$  по трем участкам наблюдений в Егоровом овраге в зависимости от скорости потока (к стр.5)

На рис. 3 представлено изменение коэффициента шероховатости « $n$ » по трем участкам в зависимости от скорости потока. Минимальная величина  $n$  характерна для верхнего участка, где овраг прорезает лессовидные суглинки, ступени в русле отсутствуют, основной русловой формой является побочень левого берега, прижимающий поток к правому берегу и постепенно смещающийся вниз по течению. На среднем и нижнем участках шероховатость русла создается выступами известняковой плиты и грубоокатанными влекомыми наносами со средним размером  $0,55 \times 0,73 \times 0,45$  м, а также трещиноватостью и водоворотными зонами. Расчеты средних вели-

чин коэффициента шероховатости по зависимости (1) показали, что величина  $n$  для всех участков устанавливается постоянной при скоростях, превышающих 0,5-1,0 м/с. При скоростях более низких прослеживается существенное влияние скорости потока на величину коэффициента шероховатости, который значительно увеличивается по мере снижения скорости потока. Например, при снижении скорости потока с 1,0 до 0,25 м/с коэффициент шероховатости на верхнем участке возрастает с 0,02 до 0,035, на среднем – с 0,025 до 0,06, на нижнем – с 0,03 до 0,1.

Эффект влияния скорости на величину  $n$  был установлен ранее при анализе данных по ирригационной эрозии (Григорьев, Кузнецов и др., 1983) и при расчетах гидротранспорта по трубам (Альтшуль, 1962). Поскольку ни в одной из приведенных работ не проводилось скрупулезных измерений кинематики потоков, было сделано предположение, что полученные количественные характеристики  $n$  зависят от принятой априори квадратичной зависимости между скоростью ( $V$ ) и произведением  $h \cdot I$ . В связи с этим была предпринята попытка оценить режим движения потока при разных скоростях. Результаты расчетов показали, что при малых скоростях потока его режим нестабилен и близок к переходной зоне. Коэффициент Рейнольдса находится в пределах от 2500 до 13000-15000. При  $C = \text{const}$  показатель степени при произведении уклона на глубину потока в формуле Шези колеблется в диапазоне от 0,52 до 0,82. Кроме того, при малых скоростях и объемах стока в оврагах более существенно сказываются погрешности метода измерений. Например, в полевых условиях почти невозможно измерить скорость потока по всему живому сечению. Получаемые значения практически всегда относятся к стрежню потока, что при расчете коэффициента шероховатости дает заниженный результат. Кроме того, при малой глубине существенную роль играют даже небольшие выступы шероховатости, торозящие поплавки и меняющие траекторию отдельных струй.

#### **Влияние типа весны на сток воды и наносов**

Влияние типа весны на характер половодья на склонах общеизвестно. Особенно много работ в этом направлении сделано на полевых водосборах с микроручейковой сетью. Овражные потоки для склоновых ручьев являются звеном более крупным, в значительной степени нивелирующим характерные особенности разных видов ручейковой сети. Снеготаяние в самом овраге, как правило, является более продолжительным, чем весенний сток на полях. При солярном типе весны время прохождения максимальных расходов воды в овраге и на полях практически совпадает, в то время как при адвективном типе весны сток в оврагах имеет два пика. Один соответствует по времени максимуму расходов на водосборе, второй – со значительно меньшими расходами, формируется во время таяния снега в самом овраге. В зависимости от экспозиции склонов отставание второго пика расходов также как и начала снеготаяния может достигать 5-7 дней.

Существуют и некоторые особенности в распределении мутности в зависимости от типа весны. При солярном типе весны гидрограф стока воды

и график изменения стока наносов практически совпадают. При адвективном типе первый пик стока воды проходит, когда русло и борта оврага еще не оттаяли, т.е. по мерзлому грунту, и не производят размываю. Овраг нередко бывает в этот период еще забит снегом, на поверхности которого четко видны следы потоков с полей, оставляющие наносы на снегу в днище оврага. При этом сами потоки разубоживаются и практически не содержат наносов. В период формирования второго пика расходов, соответствующего по времени таянию снега в овраге, происходит активная эрозия на участках русла, сложенных легко размываемыми грунтами, что дает при сравнительно невысоких расходах воды максимальные величины мутности. Нередко пики мутности отстают как от первого, так и от второго пика расходов воды, что абсолютно не характерно для рек. На рис. 4 представлены гидрографы стока воды и график изменения стока наносов для условий соляного и адвективного типов весны.

#### **Гидрологические характеристики потоков**

Результаты натурных наблюдений позволили сделать расчеты гидрологических характеристик потоков в оврагах. Определены расходы, скорости течения, глубина, ширина потоков, их мутность, число Фруда. Типичные параметры приведены в таблице 1.

Измерения величин мутности воды на р. Протве в разные периоды половодья показали, что ее средняя величина составляет 1,0 г/л, при максимальной – 7 г/л, отмеченной в 1984 г. В ручейковой сети на поле и в овраге мутность потоков на порядок выше. Так, непосредственно выше конуса выноса мутность в овраге достигает 30 г/л. Несмотря на такую значительную разницу в содержании взвеси потоков реки и оврага, ощутимой разницы в мутности реки выше и ниже устья оврага не выявлено. По-видимому, основная часть взвеси, транспортируемая овражным потоком, откладывается на конусе выноса, вдающемся в реку, и на косе сформировавшейся вдоль правого берега.

#### **Плановые переформирования оврагов**

О транспортировке овражным потоком наносов можно судить не только по данным срочных наблюдений за мутностью на участках наблюдений, но и по перестройке русла оврага. Наиболее существенные его переформирования отмечаются на участках, сложенных легко размываемыми породами. На верхнем участке даже визуальная оценка дна потока позволяет увидеть большое его сходство с русловыми формами на реках. Как и в руслах рек с размываемым ложем здесь типично образование побочней, перекатов и плесовых лощин. Представление об их развитии было получено при сопоставлении материалов ежегодных теодолитных съемок, проводимых весной и осенью, начиная с 1985 г. Весной съемка участка проводилась по окончании стока и обсыхания бортов и дна оврага. Планы, составленные осенью, позволяют зафиксировать положение дна и бортов оврага после летних паводков перед следующим циклом весенних переформирований.

Сопоставление гидрографов с данными о стоке наносов за соответствующие годы показывает, что зафиксированные изменения тесно связаны с ходом половодья. Например; наибольшие переформирования произошли весной 1987 и 1988 гг, характеризовавшихся растянутым снеготаянием (соответственно 10 и 14 дней) и большими объемами стока воды и наносов. Расходы воды и наносов весной 1988 г имели наивысшие значения 31 марта – соответственно, 450 л/с и 558 г/с при мутности 1,24 г/л. Всего за половодье 1988 г через верхний участок прошло 11,7 тонн твердого материала.

**Таблица 1.** Средние значения гидрологических характеристик потоков в оврагах лесной зоны

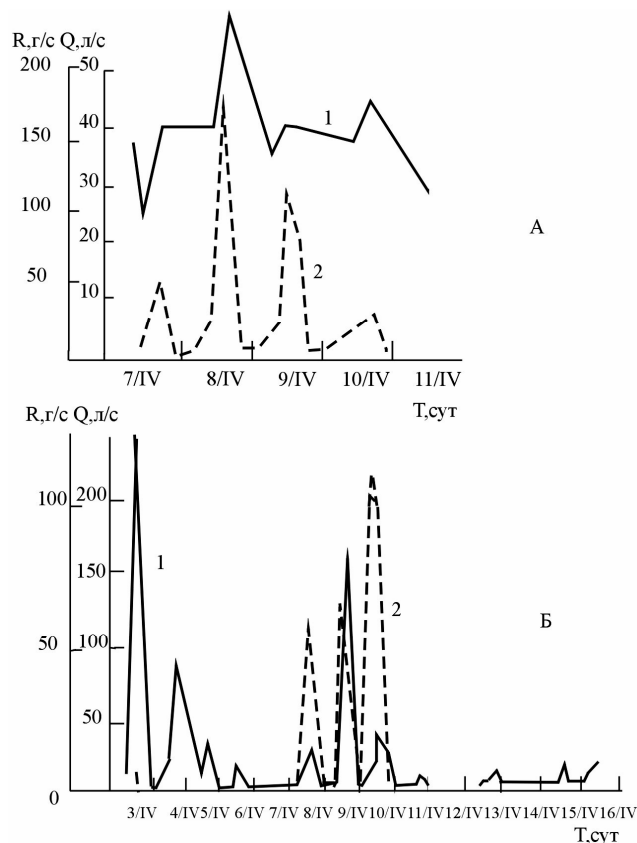
участок	Параметры потока	Расход воды, л/с						
		до 10	11-50	51-100	101-150	151-200	201-300	>3000
верхний	Скорость, м/с	0,38	0,49	0,8	1,11	1,11	1,38	1,54
	Мутность, г/л	0,48	1,72	2,55	3,02	2,58	1,82	2,01
	Глубина, м	0,032	0,07	0,11	0,139	0,179	0,20	0,25
	Коэффициент шероховатости	0,030	0,036	0,032	0,026	0,030	0,024	0,027
	Число Фруда	0,33	0,21	0,39	0,49	0,43	0,53	0,50
средний	Скорость, м/с	0,28	0,59	0,98	1,08	1,44	1,46	1,59
	Мутность, г/л	1,05	2,56	1,10	4,07	1,91	6,21	-
	Глубина, м	0,021	0,046	0,074	0,10	0,112	0,134	0,201
	Коэффициент шероховатости	0,07	0,05	0,044	0,043	0,036	0,040	0,049
	Число Фруда	0,22	0,43	0,74	0,66	1,13	0,86	0,65
нижний	Скорость, м/с	-	0,55	0,70	0,81	1,05	1,10	1,49
	Мутность, г/л	-	1,18	2,23	3,21	5,86	1,51	3,07
	Глубина, м	-	0,056	0,072	0,089	0,10	0,104	0,123
	Коэффициент шероховатости	-	0,062	0,055	0,053	0,039	0,043	0,036
	Число Фруда	-	0,28	0,36	0,38	0,58	0,60	0,97

За годы исследований на верхнем участке отметки дна потока в среднем понизились на 0,76 м, т.е. здесь происходит врезание русла. Кроме того, существенно изменились очертания побочня левого берега. Его вершина сместилась на 0,4м вниз по течению, а в направлении противоположного борта вытянулась на 0,8 м. В результате пологая сегментная излучина превратилась в заваленную.

Наблюдения показали, что средний и нижний участки Егорова оврага, сложенные трудно размываемыми породами, являются зонами транзита и переотложения твердого материала. Источниками его поступления служат смыв с водосборной площади, размыв дна оврага на вышележащих участках, а также осыпание и оползание грунта с его бортов. Например; весной 1988 г через верхний участок Егорова оврага прошло около 12 тонн взвешенных наносов, а через нижний всего 2,5 тонны. Таким образом, только немногим более 20% наносов, перемещаемых в овраге достигает р. Про-



твы. Эта цифра согласуется с данными многих исследователей, проводивших наблюдения в лесной зоне (Ковальчук, 1981; Голосов, 1986).



**Рис. 4.** Гидрографы стока воды и наносов при соляном (А) и адвективном типе (Б) весны  
1 ——— расход воды 2 - - - - - расход наносов

Поскольку овраг привязан своим устьем непосредственно к реке, его влияние на поток и русло несомненно. Крупнозернистые пески, транспортируемые овражным потоком, являются основным материалом, формирующим конус выноса оврага. Водоток Егорова оврага впадает в Протву (IX порядок), прорезая собственный конус выноса, как правило, полностью затопляемый в период половодья. В межень подводная часть конуса выноса формирует косу вдоль правого берега реки. Надводная (в межень) часть конуса ежегодно претерпевает заметные переформирования, приводящие к уменьшению уклона устьевых участков и временному повышению абсолютных отметок основной части его поверхности. В пределах надводной части

конуса ежегодно происходит изменение положения сети ручьев на его поверхности.

Представления о переформированиях на поверхности конуса получены путем сопоставления ежегодно составляемых планов участков в масштабе 1:100. В 1985 г. русло потока в вершине конуса имело глубину от 0,05 до 0,1 м. В центральной части нагромождения из относительно крупных глыб известняка и доломита (средние размеры 0,1x0,15м) разделяли поток на три рукава глубиной не более 0,02-0,03м. В последующие два года эти нагромождения были уничтожены ледоходом, четкого деления русла на рукава не наблюдалось, поток равномерно растекался по поверхности конуса. Коса, формирующаяся вдоль правого берега реки несколько вытянулась вниз по течению. В 1988 г на конусе вновь стало формироваться неглубокое русло. Размеры самого конуса увеличились за счет выдвигания в сторону противоположного берега и вниз по течению.

Существенные изменения в приустьевой зоне оврага и на конусе выноса связаны с ливнем большой интенсивности, прошедшем в июне 1993 г. Тогда длина размыва в устье оврага составила 21 м, средняя ширина размыва – 2,0 м, а максимальная – 2,8 м, средняя глубина – 0,5 м, максимальная – 0,8 м. Объем размывтого грунта составил 18 м<sup>3</sup>. При этом была разрушена ступень из глыб выветрелого известняка, которые были перенесены вниз по течению на 14 м и заполнили водобойный колодец под структурной монолитной ступенью. Ниже завала в русле ручья и на конусе выноса было перетолжено 10-12 м<sup>3</sup> наносов. Остальная часть грунта во взвешенном состоянии попала в реку.

На планах, составленных в 1995 и 1996 гг, на конусе прослеживается русло глубиной 0,1-0,15м, прорезавшееся до уреза р. Протвы.

Следующие крупные изменения на конусе произошли в 1996 г, когда во время мощного половодья при высоких скоростях течения потока конус был несколько размыт и по высоте, и по простиранию. За половодье следующего 1997 г. нижний край конуса сместился вниз по течению реки на 0,3 м а противоположному берегу на 0,4 м. На планах конуса, относящимся к периодам осенней межени 1995, 1996 и 1997 г видно, что между косой и берегом образовалась заводь, к которой коса обрывается крутым подвальем.

За весь период наблюдений особенно существенная перестройка конуса произошла весной 1988 г, когда за время снеготаяния по оврагу прошли экстремально большие расходы воды при практически нулевой мутности, что привело к значительным размывам и общему понижению поверхности конуса на 0,4 м. Однако в целом за время наблюдений высота поверхности конуса существенно не изменилась, хотя его плановые размеры и конфигурация постоянно претерпевали переформирования: конус выноса вытянулся вниз по течению реки на 0,9 м, в сторону противоположного берега на 1,6 м; одновременно сформировалась коса, что привело к росту объема конуса. При этом стрежень речного потока был отжат к левому берегу, что обусловило его размыв и образование изгиба некогда прямого берега (рис. 5)

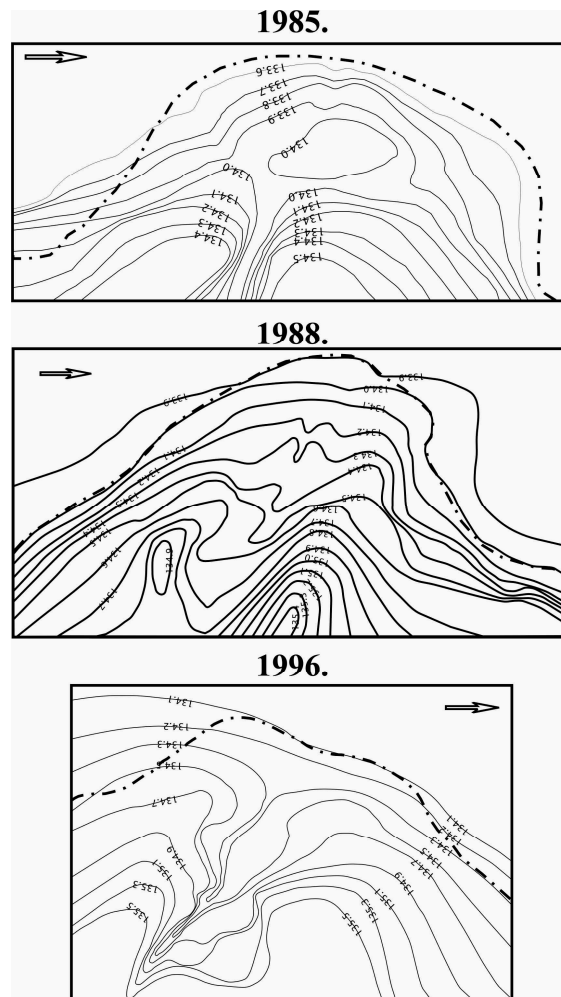


Рис. 5. Перестройка конуса выноса Егорова оврага.

#### Роль склоновых и эрозионных процессов в оврагообразовании

В комплексе природных процессов, сопутствующих развитию овражной эрозии одно из первых мест занимает процесс суффозии, механизм которой до настоящего времени для овражных форм специально не рассматривался. По наблюдениям в Сенокосной балке процессы суффозии широко развиты на залесенных и открытых овражных водосборах и являются одной из основных причин углубления и расширения вершин оврагов. Так вершина донного овражного вреза Сенокосной балки в разные годы в зависимости от интенсивности талого и ливневого стока и условий промерза-

ния-протаивания в период весеннего снеготаяния развивалась то преимущественно по эрозионному, то по суффозионному типу.

В многоводные 1983-1987 г развитие шло по эрозионному типу: ежегодный прирост донного эрозионного вреза составлял 1,65-2,4 м. В маловодные 1995-1999 г вершина вреза росла по суффозионному типу: величина ежегодного прироста была невелика 0,2-1,2 м. Вершина водобойного колодца размывалась слабо. В то же время росли «поноры» (подземные размывы по трещинам и по тоннелям) и отшнурованные от основного русла ветвящиеся суффозионные ложбины и западины, уводящие весь поверхностный сток также в подземные «поноры». Прирост таких суффозионных форм составлял 1,5-3,0 м/год, то есть он был вполне сопоставим с поверхностным, чисто эрозионным приростом в многоводные годы. Впоследствии такие суффозионные ложбины путем расширения и обваливания стенок над подземным руслом постепенно соединялись с основным поверхностным эрозионным руслом и формировали единый овражный вершинный врез. При этом супесчано-суглинистый грунт вымывался по «понорам» из-под дернины, нависающей козырьком в 10-20 см у их устья. Так как глубина донного эрозионного вреза в Сенокосной балке небольшая (около 1,1 м), то и перепад высот от днища балки в местах выхода суффозионных «понор» также невелик – 0,6-0,8 м. Обрушившийся материал суффозионных размывов завалил основное русло донного вреза и в последние маловодные годы не был размыт маломощным потоком.

Еще более отчетливо проявляется суффозионный механизм роста в вершине Буйного оврага, расположенного рядом с Сенокосной балкой по левому борту долины р. Протвы. Это обусловлено следующими условиями: 1) рельефообразующими породами здесь являются легко поддающиеся суффозии опесчаненные суглинки и пески; 2) перепады высот в вершине Буйного оврага больше, чем в Сенокосной балке – от 0,8 до 1,8 м; 3) сток у вершины рассредоточен по склону, что препятствует его концентрации в единое русло и формированию водобойного колодца, но не мешает образованию многочисленных суффозионных «понор» вдоль всего вершинного перепада высот; 4) лес, кустарники и дернина вокруг вершины также сдерживают эрозионный размыв, но не могут воспрепятствовать суффозионному вымыванию частиц легкого грунта из-под дернины и корней деревьев, которые в результате ежегодно обрушиваются в овраг целыми группами вместе с грунтовыми блоками. Основному суффозионному обрушению подверглась даже не основная вершина, а левая боковая часть, что также свидетельствует о том, что основное значение в данном случае имеет не эрозионный врез по основному руслу, а другие сопутствующие процессы: основная вершина удлинилась за 18 лет всего на 0,2-0,5м, а отступление левого борта оврага произошло более, чем на 2 м. При этом поверхностных размывов у края вершины Буйного оврага не отмечено.

Основная вершина Егорова оврага развивается преимущественно по эрозионному типу, что обусловлено отчасти антропогенными причинами – искусственной концентрацией стока в бетонном дюкере под шоссе

дорогой и подведением стока по водоподводящей ложбине к вершине оврага. Во всех других четырех вершинах Егорова оврага развитие происходит без участия антропогенного фактора, с преобладанием суффозионного механизма развития. На залесенном участке рост этих вершин происходит очень медленно, с образованием суффозионных «понор», их постепенным расширением и обрушением. Длина таких форм до 0,5 м при перепаде высот всего 0,4-0,5 м. В отдельные маловодные годы (например, 1985-1986) линейного прироста по этим вершинам вообще не отмечено. В то же время основная вершина ежегодно росла от 1,6 до 2,4 м/год при глубине водобойного колодца в вершине более 1,6 м.

### **Заключение**

Таким образом можно констатировать, что многолетний ряд наблюдений над оврагами на Сатинском стационаре позволил выявить целый ряд новых закономерностей гидрологического режима и особенностей геоморфологического механизма развития овражной эрозии в лесной гумидной зоне европейской части России.

В результате многолетних исследований на стационаре:

- Установлены особенности гидрографа стока воды и графика распределения стока наносов в зависимости от солярного и адвективного типа весны.
- Рассмотрено распределение эродированного твердого материала по разным звеньям гидрографической сети. Подтвержден факт выноса в гидрографическую сеть лишь 20% его объема.
- Отмечена большая переменность формы и размеров живого сечения потока в оврагах.
- Коэффициент шероховатости русла потоков в оврагах определяется комплексом всех видов местных и рассредоточенных по длине русла сопротивлений. Получена зависимость значений коэффициента шероховатости от пород слагающих русло, а также скоростных характеристик потока и неравномерности их распределения по ширине длине русла.
- Установлено влияние развития конусов выноса оврагов, привязанных к постоянным водотокам на плановые переформирования их русел.
- Подтверждены в качестве основных в развитии оврагов комплексы эрозионных и склоновых процессов. Степень влияния и преобладающая роль каждого из них определяется ежегодной переменностью природных факторов.

### **ЛИТЕРАТУРА**

Альтшуль А.Д. Местные гидравлические сопротивления при движении вязких жидкостей. М.: Гостоптехиздат, 1962. 123 с.

**Голосов В.Н.** Антропогенная эрозия почв в бассейне Верхней Оки. Автореф. на соиск. уч. ст. канд. геогр. наук. М.: изд-во МГУ, 1986. 25 с.

**Гончаров В.Н.** Динамика русловых потоков. Л.: Гидрометеиздат. 1965.

**Ковальчук И.П.** Динамика эрозионных процессов в Западной Подолии. Автореф. на соиск. уч. ст. канд. геогр. наук. М.: Изд-во МГУ, 1981. 24 с.

**Кузнецов М.С., Григорьев В.Я., Ким А.Д.** Оценка и картографирование потенциальной опасности ирригационной эрозии почв // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 9. М.: изд-во МГУ, 1983.. С. 55-68.